

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** **2 454 657** ⁽¹¹⁾ ⁽¹³⁾ **C2**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[G01N 21/63 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 17.05.2016)
Пошлина: учтена за 3 год с 12.05.2012 по 11.05.2013

(21)(22) Заявка: [2010118787/28](#), 11.05.2010(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.05.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.05.2010

(43) Дата публикации заявки: 20.11.2011 Бюл. № 32

(45) Опубликовано: [27.06.2012](#) Бюл. № 18

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2172946 C1, 27.08.2001. RU 2199730 C2, 27.02.2003. RU 2190208 C2, 27.09.2002. WO 03/014400 A1, 20.02.2003.

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, К-2, ул. Мира, 19,
УрФУ, Центр интеллектуальной
собственности

(72) Автор(ы):

Вайнштейн Илья Александрович (RU),
Вохминцев Александр Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина" (RU)

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА С
ПРОСТРАНСТВЕННЫМ МИКРО- ИЛИ НАНОМАСШТАБНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ
(ВАРИАНТЫ)**

(57) Реферат:

Устройство для исследования люминесцентных свойств материала с пространственным микро- или наномасштабным разрешением включает предметный столик для размещения образца материала, первый источник облучения исследуемой области материала, источник лазерного излучения, детектор люминесценции и блок синхронизации. Первый источник облучения выполнен в виде источника электронов, а блок синхронизации осуществляет функцию задержки воздействия лазерного излучения на каждую исследуемую область материала относительно времени воздействия на эту область электронного облучения. В устройство введен блок сканирования, выполненный в виде средства, осуществляющего функцию воздействия электронным облучением и лазерным излучением на каждую исследуемую область образца материала. Обеспечивается повышение точности сравнительного исследования свойств разных образцов материалов, и расширяются

возможности исследования люминесценции. 2 н.п. ф-лы, 4 ил., 1 табл.



Фиг.4

Изобретение относится к устройствам для бесконтактного неразрушающего исследования электрофизических характеристик материалов, в частности, к устройствам исследования их люминесцентных свойств.

Известно устройство для фотолюминесцентного картографирования (исследования) полупроводниковых пластин (материалов), включающее предметный столик для размещения на нем образца материала, лазерный источник, фотоприемник и систему сканирования, выполненную в виде столов линейного и поворотного перемещения предметного столика [Патент РФ 2172946, заявлен 01.08.2000, опубликован 27.08.2001].

Устройство обеспечивает получение характеристик оптически стимулированной люминесценции - интенсивность, спектральный состав, пространственное распределение указанных параметров с пространственным микромасштабным разрешением (при диаметре пятна лазерного излучения на материале менее 5 мкм). Использование соответствующего оборудования позволяет обеспечить и наномасштабное разрешение. Недостатком является отсутствие возможности выявления взаимосвязи между возникновением в материале и последующей оптической стимуляцией люминесцентных комплексов, так как проведение измерений не соотнесено с предшествующим процессом их возникновения в материале.

Наиболее близким к предложенному является устройство для исследования люминесцентных свойств материала, включающее предметный столик для размещения образца материала, первый источник облучения исследуемой области материала в виде источника импульсного пучка ионов, второй источник излучения в виде лазера, детектор ионно-индуцированного излучения (детектор люминесценции) и блок синхронизации, обеспечивающий функцию совмещения момента воздействия импульсного ионного пучка на исследуемую область материала с моментом измерения ионно-индуцированного излучения (люминесценции) [Плаксин О.А., Методы исследований оптических свойств материалов при радиационном воздействии, автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, Обнинск, 2006, стр.19-20.]

Устройство обеспечивает возможность раздельного проведения таких исследований, как исследование ионно-индуцированной люминесценции при облучении материала ионным пучком или исследование оптически стимулированной люминесценции при облучении материала лазерным излучением. При исследовании ионно-индуцированной люминесценции за счет соответствующего блока синхронизации обеспечивается одновременное измерение ионно-индуцированной люминесценции. Однако при исследовании оптически стимулированной люминесценции отсутствует возможность выявления взаимосвязи между возникновением в материале и последующей оптической стимуляцией

люминесцентных комплексов, так как конструкция устройства не позволяет соотнести во времени проведение измерений люминесценции с предшествующим процессом возникновения в материале таких комплексов. Это является недостатком устройства. Отсутствует возможность исследования стимулированных в материале быстропротекающих процессов в образующихся люминесцентных комплексах, регистрации параметров возникающих при этом короткоживущих метастабильных состояний люминесцентных комплексов, в частности, измерение времени жизни таких состояний. Кроме того, устройство не обеспечивает исследование влияния на люминесцентные характеристики материала параметров электронного пучка.

Задачей предложенного изобретения является обеспечение исследования и регистрации параметров стимулированных в образце материала быстропротекающих процессов, расширение возможностей исследования параметров короткоживущих метастабильных состояний люминесцентных комплексов, расширение возможностей исследования.

Для решения поставленной задачи устройство по первому варианту для исследования люминесцентных свойств материала с пространственным микро- или наномасштабным разрешением, включающее предметный столик для размещения образца материала, первый источник облучения исследуемой области материала, источник лазерного излучения, детектор люминесценции и блок синхронизации, отличается тем, что первый источник облучения исследуемой области материала выполнен в виде источника электронов, а блок синхронизации осуществляет функцию задержки воздействия лазерного излучения на исследуемую область материала относительно времени воздействия на эту область электронного облучения на период времени, определяемый соотношением

$$\tau_{\text{зад}} \geq 10 \times \tau_{\text{зат}} \quad (1)$$

где

$\tau_{\text{зад}}$ - это время задержки между воздействием на исследуемую область электронного пучка и лазерного излучения, с;

$\tau_{\text{зат}}$ - это время затухания катодолуминесценции исследуемой области материала, находящееся в пределах от 1 нс до 10^9 нс.

Устройство по второму варианту для исследования люминесцентных свойств материала с пространственным микро- или наномасштабным разрешением, включающее предметный столик для размещения образца материала, первый источник облучения исследуемой области материала, источник лазерного излучения, детектор люминесценции и блок синхронизации, отличается тем, что первый источник облучения исследуемой области материала выполнен в виде источника электронов, в устройство введен блок сканирования, выполненный в виде средства, осуществляющего функцию воздействия электронным облучением и лазерным излучением на каждую исследуемую область образца материала, а блок синхронизации осуществляет функцию задержки воздействия лазерного излучения на каждую исследуемую область материала относительно времени воздействия на эту область электронного облучения на период времени, определяемый соотношением

$$\tau_{\text{зад}} \geq 10 \times \tau_{\text{зат}} \quad (1)$$

где

$\tau_{\text{зад}}$ - это время задержки между воздействием на исследуемую область электронного пучка и лазерного излучения, с;

$\tau_{\text{зат}}$ - это время затухания катодолуминесценции исследуемой области материала, находящееся в пределах от 1 нс до 10^9 нс.

Техническим результатом устройств по первому и второму вариантам исполнения является обеспечение возможности варьирования промежутка времени (время задержки) между облучением исследуемой области материала пучком электронов и стимуляцией его лазерным излучением, то есть между формированием люминесцентных комплексов в конкретной исследуемой области материала и возбуждением люминесценции в этой же области. Это позволяет отождествить результат измерения люминесценции с конкретной, созданной с помощью электронного пучка, областью люминесценции, и исследовать влияние электронного пучка на конкретные центры люминесценции. В результате повышается точность определения влияния параметров электронного пучка на люминесцентные характеристики материала и воспроизводимость результатов измерений для каждой исследуемой области материала и разных образцов материалов. Проведение исследований при разных значениях времени задержки обеспечивает регистрацию параметров стимулированных в образце материала быстропротекающих процессов, расширение возможностей исследования параметров короткоживущих метастабильных состояний люминесцентных комплексов. Повышается точность

сравнительного исследования свойств разных образцов материалов. Расширяются возможности исследования люминесценции в материалах.

Устройства по разным вариантам исполнения отличаются друг от друга только тем, что в устройстве по первому варианту обеспечивается исследование одной области материала, после чего образец материала может быть вручную перемещен для исследования другой области. В устройстве по второму варианту обеспечивается исследование ряда областей материала при автоматическом сканировании по исследуемым областям.

Изобретения поясняются чертежами:

фиг.1 - временные графики, иллюстрирующие работу устройств, облучение исследуемой области материала электронным пучком (фиг.1а)) и лазерным излучением (фиг.1б)), управление сканированием (фиг.1в)), а также показывающие люминесценцию исследуемой области материала (фиг.1г)), где оси абсцисс отражают время в с, а оси ординат - амплитуду (интенсивность) в относительных единицах и где $t_{эд}$ - длительность времени облучения исследуемой области материала электронным пучком, $t_{л}$ - длительность времени облучения исследуемой области материала лазерным излучением, $t_{зад}$ - длительность задержки между облучением исследуемой области электронным пучком и лазерным излучением, $t_{ск}$ - длительность времени сканирования;

фиг.2 - иллюстрация получения с использованием предложенного устройства характеристик нескольких исследуемых областей материала;

фиг.3 - блок-схема устройства для исследования люминесцентных свойств одной исследуемой области материала (первый вариант изобретения).

фиг.4 - блок-схема устройства для исследования люминесцентных свойств нескольких исследуемых областей материала (второй вариант изобретения).

Устройство по первому варианту изобретения (фиг.3) для исследования люминесцентных свойств одной исследуемой области материала включает предметный столик 1 для размещения образца материала 2 (образец), источник 4 электронного облучения (пучка электронов) 5, источник 6 лазерного излучения 7 (лазер), блок синхронизации 8 пучка электронов 5 и лазерного излучения 7, детектор люминесценции 9 с блоком 10 регистрации люминесценции 11. Предметный столик 1 размещен на основании устройства (на чертеже не показано).

Выход 12 блока синхронизации 8 соединен со входом 13 источника 4 пучка электронов, а выход 14 блока синхронизации 8 соединен со входом 15 источника 6 лазерного излучения. Выход 16 детектора 9 люминесценции 11 соединен со входом 17 блока 10 регистрации люминесценции 11, возбуждаемой лазерным излучением 7.

В качестве детектора 9 может быть использован спектрально разрешаемый фотоприемник, например, фотоэлектронный умножитель. В качестве блока 10 регистрации может быть использован компьютер с устройством преобразования сигнала детектора 9.

Источники электронов 4 и лазерного излучения 6 осуществляют функции формирования соответственно электронного пучка 5 и лазерного излучения 7, имеющих размеры поперечного сечения наноразмерного масштаба или, при необходимости, более увеличенные размеры микронного масштаба в зависимости от размеров исследуемой области 3. Источники электронов 4 и лазерного излучения 6 могут осуществлять функции формирования соответственно непрерывного электронного пучка 5 и непрерывного лазерного излучения 7 или импульсного электронного пучка 5 и импульсного лазерного излучения 7. В рассмотренном устройстве по фиг.3 источники электронов 5 и лазерного излучения 7 выполнены таким образом, что электронный пучок 5 и лазерное излучение 7 направлены на одну и ту же облучаемую (исследуемую) область 3 материала 2.

Блок синхронизации 8 осуществляет функцию задержки воздействия лазерного излучения 7 на исследуемую область 3 материала 2 относительно времени воздействия на эту область электронного пучка 5 на период времени, определяемой соотношением

$$t_{зад} \geq 10 \times t_{зат} \quad (1)$$

где

$t_{зад}$ - это время задержки воздействия на исследуемую область материала лазерного излучения относительно воздействия на эту область электронного пучка, нс;

$t_{зат}$ - это время затухания катодолуминесценции исследуемой области материала, находящееся в пределах от 1 нс до 10^9 нс.

Для осуществления вышеуказанной задержки воздействия лазерного излучения 7 на облучаемую область 3 материала 2 относительно времени воздействия на эту

область электронного пучка 5 на период времени, определяемый соотношением (1), блок синхронизации 8 содержит два синхронизированных друг с другом задающих генератора (на фигурах не показаны ни задающие генераторы, ни устройство их синхронизации), один из которых формирует на своем выходе последовательность управляющих импульсов 39, показанных на фиг.1а), а другой - последовательность управляющих импульсов 40, показанных на фиг.1б). Указанные импульсы имеют длительности t_3 и t_4 , равные временам работы (от включения до выключения) соответственно источника 4 электронного пучка (импульс 39 длительностью t_3) и источника 6 лазерного излучения (импульс 40 длительностью t_4). Выход задающего генератора импульсов 39 непосредственно соединен с выходом 12 блока синхронизации 8, а выход задающего генератора импульсов 40 соединен с выходом 14 блока синхронизации (на фигурах не показано).

Упомянутые задающие генераторы синхронизированы друг относительно друга так, что при работе устройства каждый из импульсов 40 на выходе 14 блока синхронизации 8 задержан относительно импульса 39 на выходе 12 блока синхронизации 8 на время задержки, определяемое соотношением (1). Таким образом, своевременное включение и выключение друг за другом во времени источника 4 пучка электронов и источника 6 лазерного излучения обеспечивается при функционировании устройства подачей управляющих импульсов 39 и 40 с выходов 12 и 14 блока синхронизации 8 на входы 13 и 15 указанных источников.

Устройство по второму варианту изобретения (фиг.4) для исследования люминесцентных свойств нескольких исследуемых областей материала включает предметный столик 18 для размещения образца 19 исследуемого материала, источник 20 электронного облучения (пучка электронов) 21, источник 22 лазерного излучения 23, блок синхронизации 24, детектор 25 люминесценции 26 с блоком 27 регистрации люминесценции 26, возбуждаемой лазерным излучением 23. Предметный столик 18 размещен на блоке сканирования 28, осуществляющем функцию перемещения предметного столика 18 с образцом 19 исследуемого материала для обеспечения соответствующего перемещения пучка электронов 21 и лазерного излучения 22 по образцу материала 19.

В качестве детектора 25 может быть использован спектрально разрешаемый фотоприемник, в качестве блока 27 регистрации может быть использован компьютер с устройством преобразования сигнала детектора 25.

Функция сканирования в устройстве по фиг.4 осуществляется путем перемещения образца материала 19 относительно электронного пучка 21 и лазерного излучения 23, каждый из которых постоянно направлен в определенное место (область) образца 19 материала. Указанное перемещение расположенного на подвижном предметном столике 18 материала 19 осуществляется с помощью блока сканирования 28. В других исполнениях устройства материал 19 может быть расположен на неподвижном предметном столике 18, а сканирование может осуществляться перемещением электронного пучка 21 и лазерного излучения 23 относительно неподвижного образца материала 19 (на чертежах не показано).

Выход 29 блока синхронизации 24 соединен со входом 30 источника 20 пучка электронов, выход 31 блока синхронизации 24 соединен со входом 32 источника 22 лазерного излучения, а выход 33 блока 24 синхронизации соединен со входом 34 блока сканирования 28. Выход 35 детектора люминесценции 25 соединен со входом 36 блока 27 регистрации люминесценции 26.

В устройстве по фиг.4 источники электронов 20 и лазерного излучения 22 также осуществляют функции формирования соответственно электронного пучка 21 и лазерного излучения 23, с размерами поперечного сечения наноразмерного или микронного масштаба. Источники электронов 4 и лазерного излучения 6 также могут осуществлять функции формирования соответственно непрерывного электронного пучка 21 и непрерывного лазерного излучения 23 или импульсного электронного пучка 21 и импульсного лазерного излучения 23. В рассматриваемом устройстве по фиг.4 источники электронов 20 и лазерного излучения 22 выполнены так, что электронный пучок 21 направлен на исследуемую область 37-1 образца 19, а лазерное излучение 23 направлено на исследуемую область 37-2 этого образца, являющуюся соседней с областью 37-1 в направлении 38 перемещения исследуемого образца 19. Области материала 19 37-1 и 37-2 отстоят друг от друга на расстояние l . При функционировании рассматриваемого устройства исследуемая область 37-1 облучается электронным пучком 21, а после перемещения образца 19 в процессе сканирования в направлении 38 подпадает под воздействие лазерного излучения 23 в виде области 37-2 и облучается им.

Задержка воздействия лазерного излучения 23 на облучаемую область 37-2 образца материала 19 относительно времени воздействия на область 37-1 электронного пучка

21 на время задержки, определяемое соотношением (1), обеспечивается в устройстве по фиг.4 соответствующим выбором расстояния ℓ между указанными областями и скорости v сканирования (перемещения) образца 19 в соответствии с соотношением

$$\ell = v \times t_{ск} \quad (2)$$

где

ℓ - расстояние между исследуемыми областями 37-1 и 37-2 материала 19, нм, измеряется между центрами исследуемых областей;

v - скорость перемещения (сканирования) электронного пучка 21 и лазерного излучения 23 относительно образца материала 19, нм/с;

$t_{ск}$ - время сканирования, которое равно или меньше времени задержки воздействия на исследуемую область материала 19 лазерного излучения 23 относительно воздействия на эту область электронного пучка 21, нс.

Блок сканирования 28 для перемещения предметного столика содержит, например, шаговый микродвигатель, управляемый импульсами со входа 34 блока синхронизации 28 с помощью схемы управления этим двигателем (на чертеже не показано). Указанный двигатель обеспечивает упомянутую выше скорость v перемещения предметного столика 18 с исследуемым материалом 19.

Для осуществления воздействия лазерного излучения 26 на облучаемую область материала 19 относительно времени воздействия на эту область электронного пучка 21 позже на период времени, определяемый соотношением (1), блок синхронизации 24 содержит два синхронизированных друг с другом задающих генератора (на фигурах не показано), один из которых формирует на своем выходе последовательность управляющих импульсов 39 (39-2), показанных на фиг.1а), а другой - последовательность управляющих импульсов 40 (40-2), показанных на фиг.1б). Указанные импульсы имеют длительности t_z и t_l , равные временам работы (от включения до выключения) соответственно источника 20 электронного пучка (импульсы 39, 39-2 длительностью t_z) и источника 22 лазерного излучения (импульсы 40, 40-2 длительностью t_l). Выход задающего генератора импульсов 39 непосредственно соединен с выходом 29 блока синхронизации 24, а выход задающего генератора импульсов 40 соединен с выходом 31 блока синхронизации (на фигурах не показано).

Упомянутые задающие генераторы синхронизированы друг относительно друга так, что при работе устройства каждый из импульсов 40 (40-2) на выходе 31 блока синхронизации 24 задержан относительно импульсов 39 (39-2) на выходе 29 этого блока синхронизации на время задержки, определяемое соотношением (1). Таким образом, своевременное включение и выключение друг за другом во времени источника 20 пучка электронов и источника 22 лазерного излучения обеспечивается при функционировании устройства подачей управляющих импульсов 39 (39-2) и 40 (40-2) с выходов 29 и 31 блока синхронизации 24 на входы соответственно 30 и 32 указанных источников. Как показано на фиг.1, импульсы 39 и 40 формируются в течение периода T работы блока синхронизации 24, а импульсы 39-2, 40-2 - в течение периода $T-2$, следующего за периодом T . За периодом $T-2$ могут следовать и другие периоды с аналогичными импульсами (на фигуре не показано).

В блоке синхронизации 24 имеется также дифференцирующий блок, два входа которого соединены с выходами вышеупомянутых задающих генераторов, а выход - с выходом 33 блока синхронизации 24 (на чертежах не показано). Дифференцирующий блок (в соответствии с известной функцией дифференцирования импульсов) образует на своем выходе, а значит на выходе 33 блока синхронизации 24 отрицательный импульс 44 от заднего фронта каждого импульса 39 (39-2) (фиг.1в)) одного задающего генератора, а затем положительный импульс 45 от переднего фронта каждого импульса 40 (40-2) другого задающего генератора. При этом время между отрицательным и положительным импульсами 44, 45, являющееся временем сканирования $t_{ск}$, получается равным $t_{зад}$ - времени задержки воздействия на исследуемую область материала 19 лазерного излучения 23 относительно воздействия на эту область электронного пучка 21. При скорости микродвигателя блока сканирования 28, в соответствии с соотношением (2) устанавливаемой равной v , вышеописанное выполнение и соединение между собой блока синхронизации 24 и блока сканирования 28 обеспечивает при их функционировании перемещение материала 19 на требуемое расстояние ℓ (фиг.4) во время $t_{ск}$, в течение которого выключены источники 20 электронного пучка и 22 лазерного излучения. В описываемом устройстве по фиг.4 при необходимости время сканирования $t_{ск}$ может быть установлено меньшим, чем время $t_{зад}$ (на фигурах не показано).

Отметим, что описанный выше дифференцирующий блок выполнен таким образом, чтобы на его выходе не формировались импульсы от переднего фронта импульсов 39

(39-2) и от заднего фронта импульсов 40 (40-2) задающих генераторов (на фигурах не показано).

Блоки синхронизации 8 и 24 могут быть выполнены с использованием микропроцессорных устройств с соответствующим интерфейсом для согласования с источниками излучений 4, 6, 20, 22 и блоком сканирования 28.

Устройство по фиг.3, обеспечивающее исследование люминесцентных свойств исследуемой области 3 материала 2 (фиг.3) без сканирования электронного пучка 5 и лазерного излучения 11 относительно образца материала 2 (первый вариант изобретения), работает следующим образом.

При включении устройства с выхода 12 блока синхронизации 8 поступает на вход 13 источника электронов 4 импульс 39 (фиг.1а)), длительность t_3 которого определяет длительность работы источника электронов 4. Производится облучение исследуемой области 3 материала 2 электронным пучком 5. В случае, когда размеры исследуемой области 3 больше размеров поперечного сечения пучка электронов 5, последний сканирует по поверхности области 3 до полного облучения всей области 3. В частном случае равенства размеров и конфигурации исследуемой области 3 с размерами и конфигурацией сечения электронного пучка 5 пучок 5 облучает область 3 без сканирования, в течение времени, определяемого условиями исследования люминесценции и находящегося, например, в диапазоне от 80 нс до 10 мс. В процессе облучения области 3 электронным пучком 5 в этой области возникает катодолюминесцентное излучение исследуемого материала (импульс 41 на фиг.1г)). Катодолюминесцентное излучение после окончания облучения области 3 электронами 5 затухает в течение времени, меньшего, чем установленное время $t_{зат}$, по истечении которого начинается облучение области 3 лазерным излучением 7.

По окончании облучения исследуемой области 3 электронным пучком 5, через время задержки $t_{зад}$, равное, в частности, 100 нс, с выхода 14 на вход 15 источника 6 лазерного излучения подается импульс 40 (фиг.1б)), длительность $T_л$ которого определяет длительность работы источника 6 лазерного излучения. Производится облучение исследуемой области 3 материала 2 лазерным излучением 7 в течение времени, находящегося, в частности, в пределах от 80 нс до 100 мс. Возникающее при этом люминесцентное излучение (11 на фиг.3, импульс 42 на фиг.1г)) попадает на детектор люминесценции 9. Соответствующий люминесценции импульсный сигнал 42 с выхода 16 детектора 9 приходит на вход 17 блока регистрации 10, запоминается, выводится на монитор компьютера, обрабатывается в блоке регистрации 18 (на фигурах не показано). Одной из характеристик исследуемой области 3 материала является, например, поглощенная доза облучения этой области, пропорциональная площади 43 импульса 42 (фиг.1г)).

При диаметре круглой исследуемой области 3, в частности, равном 20 нм, обеспечивается наноразмерное разрешение при исследовании люминесценции материала 2. При диаметре круглой исследуемой области 3, равном, например, 5 мкм, разрешение будет микроразмерным.

Выбор облучения материала 2 непрерывными электронным пучком 5 и лазерным излучением 7 или импульсными электронным пучком и импульсным лазерным облучением зависит от требуемых условий исследования или определяется имеющимся оборудованием.

Время задержки $t_{зад}$ устанавливается, в соответствии с соотношением (1), в зависимости от времени затухания $t_{зат}$ катодолюминесценции исследуемого материала, находящегося в пределах от 1 нс до 10^9 нс. Например, при времени затухания 1 нс время задержки должно быть не менее 10 нс, при времени затухания 1000 нс время задержки устанавливается не меньше чем 10000 нс. Максимальное значение времени задержки в каждом указанном случае устанавливается, с одной стороны, исходя из того, чтобы чрезмерно не увеличивать время исследования материала. С другой стороны, максимальное время задержки выбирается так, чтобы уровень (величина, амплитуда, интенсивность) затухающей катодолюминесценции была в $10 \div 15$ раз меньше уровня исследуемой люминесценции материала, вызываемой лазерным излучением.

В таблице приведены предназначенные для использования при осуществлении предложенного устройства значения $t_{зат}$ и $t_{зад}$ для некоторых материалов.

Исследуемый материал	Время затухания катодолюминесценции, $t_{зат}$, нс	Время задержки, $t_{зад}$, не менее нс
n-GaP	20	200
YAG: Ce	70	700
NaI: Tl	230	$2,3 \times 10^3$
BGO	$3,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^3$

a-SiO ₂ (1,9 эВ)	$2,8 \times 10^4$	$2,8 \times 10^5$
a-SiO ₂ (2,65 эВ)	$4,9 \times 10^6$	$4,9 \times 10^7$

В процессе работы устройства по фиг.4 осуществляется исследование люминесцентных свойств исследуемых областей 37-1 и 37-2 материала 19 (фиг.4) со сканированием электронного пучка 21 и лазерного излучения 23 относительно образца материала 19 при переходе от одной исследуемой области к другой (второй вариант изобретения).

При включении устройства по фиг.4 с выхода 29 блока синхронизации 24 (фиг.4) поступает на вход 30 источника электронов 20 импульс 39 (фиг.1а)), длительность которого определяет длительность работы источника электронов 20. Производится облучение исследуемой области 37-1 материала 19 электронным пучком 21 аналогично тому, как это описано выше для исследуемой области 3 (фиг.3). В процессе облучения области 37-1 электронным пучком 21 в этой области возникает катодолуминесцентное излучение исследуемого материала (41 на фиг.1г)), которое после окончания облучения области 37-1 электронами 21 затухает в течение времени, меньшего, чем установленное время тзад.

По окончании облучения области 37-1 пучком электронов 21 (импульс 39) осуществляется сканирование материала 19 в направлении 38 (фиг.4). При этом облученная электронами область материала (37-1) перемещается в положение 37-2 для последующего облучения ее лазерным излучением 26 через время задержки тзад, равное, например, 100 нс. Сканирование обеспечивается подачей с выхода 33 блока синхронизации 24 отрицательного импульса 44 (фиг.1в)) на вход 34 блока сканирования 28. Импульс 44 с помощью схемы управления запускает шаговый микродвигатель блока сканирования (на фигурах не показано) для перемещения материала 19 в направлении 38.

Затем через время Тск, вследствие прихода на вход 34 блока сканирования 28 положительного импульса 45, выключается микродвигатель блока сканирования, останавливается перемещение материала 19.

Далее с выхода 31 блока синхронизации на вход 32 источника 22 лазерного излучения подается импульс 40 (фиг.1б)), длительность которого тл определяет длительность работы источника 22. Производится облучение исследуемой области 37-2 материала 19 лазерным излучением 23 в течение времени, находящегося, в частности, в пределах от 80 нс до 100 мс. Возникающее при этом люминесцентное излучение (26 на фиг.3, 42 на фиг.1г)) попадает на детектор люминесценции 25. Соответствующий люминесценции импульсный сигнал с выхода 35 детектора 25 приходит на вход 36 блока регистрации 27, запоминается и обрабатывается в блоке регистрации 27, выводится на монитор компьютера (на фигурах не показано). Одной из характеристик исследуемой области 37-2 материала является, в частности, поглощенная доза облучения этой области, пропорциональная площади 43 импульса 42.

Работа устройства и описанный процесс облучения исследуемых областей материала 19 электронным и лазерным излучениями и регистрации люминесценции, происходящий в период Т (фиг.1), повторяются в период Т-2 и последующие периоды для получения результатов исследования других областей материала 19 (фиг.2).

Диаметры электронного пучка 21 и лазерного излучения 23 выбраны, в частности, равными 20 нм, при этом обеспечивается наноразмерное разрешение исследования люминесценции материала 19. В этом случае расстояние ℓ между исследуемыми областями 37-1 и 37-2 устанавливается равным, например, 24 нм. Расстояние ℓ между исследуемыми областями выбирается, в частности, таким, чтобы соседние исследуемые области не перекрывались, или из других соображений.

При диаметре электронного пучка 21 и лазерного излучения 23, равном, например, 8 мкм, разрешение будет микроразмерным. При этом расстояние ℓ между исследуемыми областями 37-1 и 37-2 будет равно, например, 9,6 мкм.

Выбор облучения материала 19 непрерывными электронным пучком 21 и лазерным излучением 23 или импульсными электронным пучком и импульсным лазерным облучением зависит от требуемых условий исследования или определяется имеющимся оборудованием.

Работа устройства и процесс облучения и перемещения образца материала 19 повторяются требуемое число раз для исследования заданного количества исследуемых областей материала 19. На фиг.2. приведены результаты исследования предложенным устройством областей 46, 47, 48, 49 и 50 материала 19. Для каждой из областей 46-50 материала 19 получена соответствующая импульсная характеристика 51, 52, 53, 54, 55, отражающая величину поглощенной дозы в исследуемой области

материала и интенсивность люминесценции каждой из исследуемых областей, включающих определенное количество люминесцентных комплексов.

Формула изобретения

1. Устройство для исследования люминесцентных свойств материала с пространственным микро- или наномасштабным разрешением, включающее предметный столик для размещения образца материала, первый источник облучения исследуемой области материала, источник лазерного излучения, детектор люминесценции и блок синхронизации, отличающееся тем, что первый источник облучения исследуемой области материала выполнен в виде источника электронов, а блок синхронизации осуществляет функцию задержки воздействия лазерного излучения на исследуемую область материала относительно времени воздействия на эту область электронного облучения на период времени, определяемый соотношением

$$t_{\text{зад}} \geq 10 \times t_{\text{зат}},$$

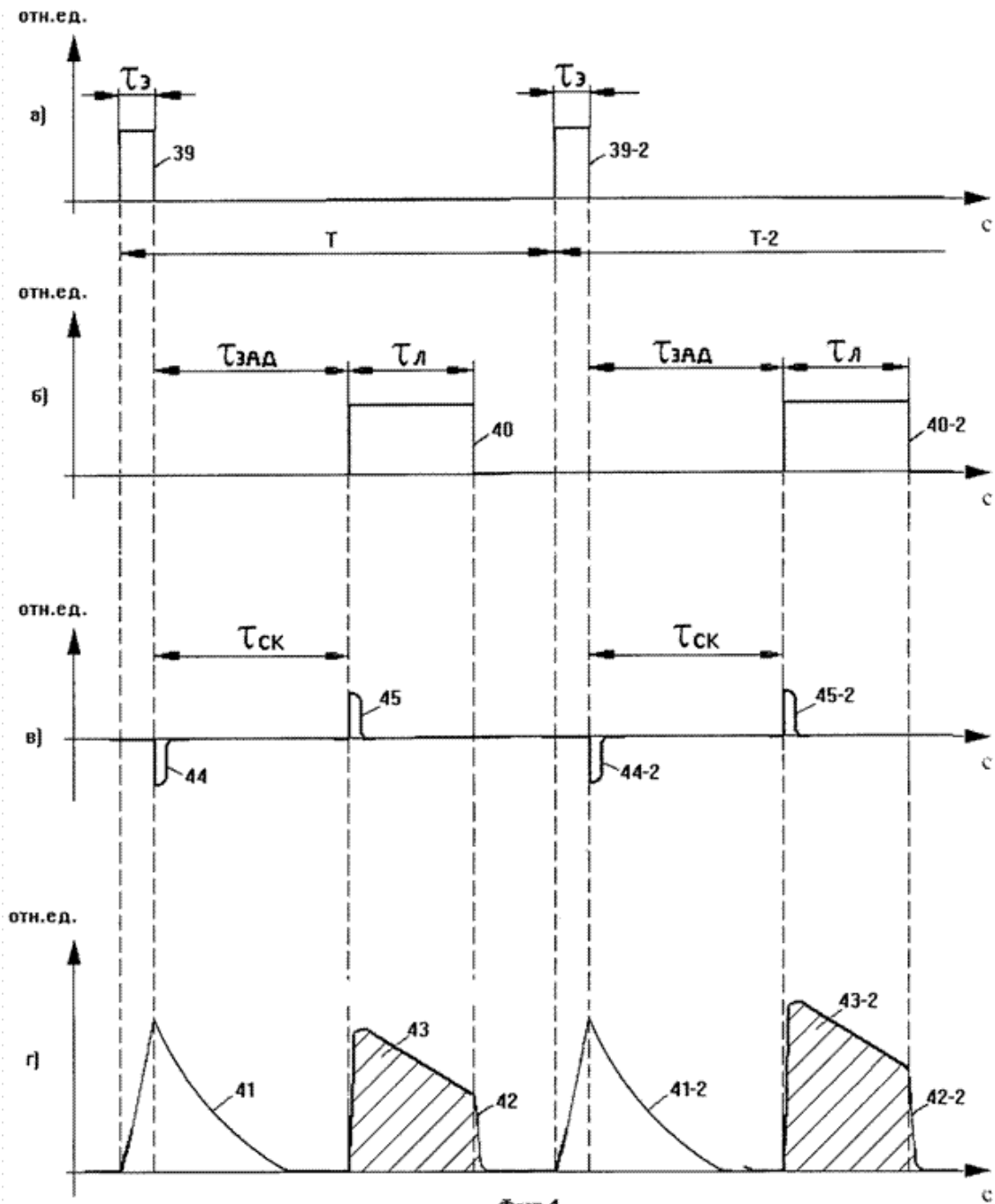
где $t_{\text{зад}}$ - это время задержки между воздействием на исследуемую область электронного пучка и лазерного излучения, с;

$t_{\text{зат}}$ - это время затухания катодолюминесценции исследуемой области материала, находящееся в пределах от 1 нс до 10^9 нс.

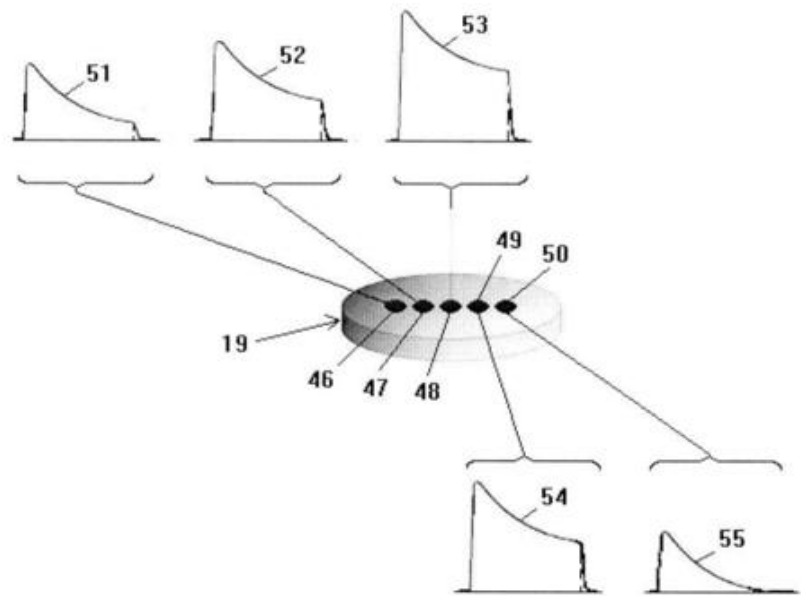
2. Устройство для исследования люминесцентных свойств материала с пространственным микро- или наномасштабным разрешением, включающее предметный столик для размещения образца материала, первый источник облучения исследуемой области материала, источник лазерного излучения, детектор люминесценции и блок синхронизации, отличающееся тем, что первый источник облучения исследуемой области материала выполнен в виде источника электронов, в устройство введен блок сканирования, выполненный в виде средства, осуществляющего функцию воздействия электронным облучением и лазерным излучением на каждую исследуемую область образца материала, а блок синхронизации осуществляет функцию задержки воздействия лазерного излучения на каждую исследуемую область материала относительно времени воздействия на эту область электронного облучения на период времени, определяемый соотношением $t_{\text{зад}} \geq 10 \times t_{\text{зат}}$,

где $t_{\text{зад}}$ - это время задержки между воздействием на исследуемую область электронного пучка и лазерного излучения, с;

$t_{\text{зат}}$ - это время затухания катодолюминесценции исследуемой области материала, находящееся в пределах от 1 нс до 10^9 нс.



Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3

ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **12.05.2013**

Дата публикации: [27.03.2014](#)